

RECURSOS DIDÁCTICOS PARA COMUNICAR ASPECTOS METODOLÓGICOS Y CONCEPTUALES TANTO DE LA EXPLORACIÓN PLANETARIA COMO DE LA ASTROBIOLOGÍA

Miguel Alcívar Cuello

Centro de Astrobiología (CSIC-INTA).

Facultad de Comunicación, Universidad de Sevilla. jalcibar@us.es

[Recibido en Noviembre de 2005, aceptado en Enero de 2006]

RESUMEN ^(Inglés)

En este artículo se exponen algunos de los recursos didácticos que han sido concebidos para facilitar el aprendizaje de distintos aspectos de la Exploración Planetaria y, en concreto, de la Astrobiología como área transdisciplinar de conocimientos. El interés más evidente que presentan estos materiales didácticos, además de tener una vocación interactiva, es que combinan contenidos científico-tecnológicos con cuestiones de índole metodológica, lo que proporciona al estudiante una visión más reflexiva del modus operandi de la investigación científica.

Palabras clave: Recursos Didácticos; Exploración Planetaria; Astrobiología; Metodología Científica; Transdisciplinariedad.

INTRODUCCIÓN

Los recursos didácticos que se describen en este trabajo pretenden estimular el interés y la vocación de los estudiantes de Bachillerato hacia algunos aspectos metodológicos y de contenido de la investigación tecnocientífica. Éstos pueden utilizarse en contextos divulgativos de educación no formal, como museos de ciencias, exposiciones científicas o ferias de la ciencia, si bien, convenientemente contextualizados, también podrían incorporarse a situaciones de aula.

Se acomete con ellos la tarea de dar a conocer la ciencia y la tecnología de una manera interactiva, sorprendente y lúdica. El primero de los recursos se trata de un experimento *in vivo* que por sus singulares características atrae la atención del estudiante. Durante su desarrollo, el científico experimentador narra las fases del experimento y las correlaciona con los fenómenos equivalentes que se dan en la naturaleza. La narración puede estar apoyada con un póster que de forma sucinta y rigurosa explique los aspectos científicos más notables. Como Lemke (1990), y Thomas y Mintz (1998) han puesto de manifiesto, la interacción directa entre el estudiante y el científico experimentador es muy importante para la comprensión y aprendizaje de los contenidos científico-tecnológicos. Los otros dos recursos, que aún

están en fase de desarrollo, se basan en la interacción computacional, mediante una interfaz digital (*touch-screen*). Varios estudios han revelado que la interacción con computadoras es un fuerte reclamo para la gente, en particular para los jóvenes, facilitando la interacción social (Scrimshaw y Wegerif, 1997).

Nuestra propuesta se encuadra dentro de una concepción crítica de la “comprensión pública de la ciencia y la tecnología” (*public understanding of science and technology*) (Durant, 1992; Michael, 2002). En concreto, se basa en el “modelo contextual o de ciencia interactiva” de Wynne (1991). Este modelo se plantea mitigar la sobresimplificación que impone el modelo dominante de la Comunicación Pública de la Ciencia, llamado “de déficit cognitivo”. El modelo de Wynne atiende al contexto social de los destinatarios de la información científica, incluidas sus creencias y conocimientos tácitos. Hay un cambio de perspectiva con relación a la naturaleza del público: de la noción pasiva, homogénea y simple que asume el modelo dominante, se pasa a una noción plural y compleja de público. En este sentido, hay estudios que señalan que la forma que tienen los individuos de apropiarse de la ciencia está íntimamente relacionada con sus expectativas y motivaciones concretas que con el contenido de cualquier mensaje científico (Gregory y Miller, 1998). O dicho de otra forma, el sentido de un mensaje no es una propiedad intrínseca de éste, sino que se genera cuando el receptor lo dota con un determinado sentido. En este proceso comunicativo que se establece, tanto el emisor del mensaje como el destinatario tienen la capacidad de aportar significado a la información contenida en el mensaje.

Además, el “modelo de ciencia interactiva” considera que la incertidumbre es parte integral de la actividad científica, y que la ciencia no puede ser ajena a sus vínculos sociales e institucionales (Einsiedel y Thorne, 1999).

Entendemos que tanto la investigación planetaria en general y la astrobiológica en particular, presentan una serie de rasgos que las convierten en materias idóneas para despertar en el estudiante el interés por la ciencia y la tecnología. Tanto la exploración planetaria como la búsqueda de signos de actividad biológica en otros cuerpos del Sistema Solar son excelentes campos para divulgar de forma integral aspectos importantes de la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad (CTS). Esta capacidad de atracción se debe a la confluencia de varios factores. Por una parte, ambos dominios de la investigación plantean problemas que se encuentran en las fronteras de la ciencia y la tecnología o que tienen relación directa con el sugestivo eje del origen y la extinción: el origen del Universo, de los elementos básicos para la vida, de la vida misma, o la extinción en masa de determinadas especies biológicas, como los dinosaurios (Alcíbar, 2005). Por otra parte, apelan a la aventura, a la imaginación y al enigma, aspectos que han sido y son muy reforzados por las narraciones de ciencia-ficción.

El cuadro 1 (adaptado de Staley, 2003) proporciona una idea general del inmenso potencial tecnocientífico y divulgativo que presentan la Exploración Planetaria y la Astrobiología. Para abordar cualquiera de estos temas es necesario combinar distintas herramientas conceptuales y metodológicas procedentes de diferentes disciplinas. Por ejemplo, una misión a Marte para buscar rastros de vida actual o extinta requiere la colaboración de ingenieros, físicos, geólogos y, naturalmente, biólogos. Todos ellos,

partiendo de su específica jerga y de sus propias tradiciones de investigación, deben realizar un esfuerzo de convergencia para lograr los objetivos de la misión. Por esta razón, la noción básica en la Exploración Planetaria y, sobre todo, en la Astrobiología es la de *transdisciplinariedad*.

- Zonas de nacimiento de estrellas, supernovas y reciclado de elementos químicos
- Formación de sistemas planetarios
- Origen, evolución y distribución de la vida
- Búsqueda de biomarcadores extraterrestres
- Búsqueda de planetas y satélites potencialmente habitables dentro y fuera de nuestro Sistema Solar
- Geosfera, hidrosfera y atmósfera de la Tierra primitiva
- Rasgos geomorfológicos, historia del agua y evolución atmosférica en planetas y satélites del Sistema Solar
- Biosfera de la Tierra primitiva
- Extinciones en masa y biodiversidad
- Evidencia fósil y geoquímica de la vida primigenia
- Vida en los ambientes extremos
- Astroquímica de las nubes interestelares y de los meteoritos

Cuadro 1. *Áreas temáticas destacadas en Exploración Planetaria y Astrobiología.*

A continuación, se detallan los tres recursos didácticos, dos en fase de elaboración y otro ya aplicado¹, que se han concebido para ilustrar algunos aspectos metodológicos que los científicos utilizan en sus investigaciones, así como algunos de los contenidos específicos involucrados en éstas. El primero de ellos, es un experimento demostrativo de los fenómenos volcánicos a baja temperatura que se dan en satélites de hielo del Sistema Solar exterior. Se describen sus fundamentos científicos, así como el material y el protocolo experimental utilizados. El segundo recurso se trata de un juego interactivo de deducción al que hemos denominado “Sherlock Holmes y la Astrobiología”. Se describe su planteamiento conceptual y sus contenidos específicos. El tercero es un mapa gráfico al que hemos llamado “El Hexágono Astrobiológico”. Se describe el planteamiento conceptual en el que se basa, así como sus contenidos específicos.

RECURSOS DIDÁCTICOS

Criovulcanismo en el Sistema Solar

Fundamentos científicos: Algunos satélites del Sistema Solar exterior (en concreto, Europa, Encelado y Tritón) están constituidos por hielos de distinta composición química (agua, dióxido de carbono, metano o amoníaco). No hay granitos ni calizas, ni

¹ El experimento de criomagmatismo se aplicó por primera vez en la VII Feria de Madrid por la Ciencia, celebrada en abril de 2006.

suelos de “tierra” como en nuestro planeta, sino más bien rocas de diferentes tipos de hielos. Por tanto, los volcanes se forman cuando se funden las rocas de hielo y se dan procesos magmáticos en condiciones de muy baja temperatura. Es esta la razón por la que los geólogos planetarios hablan de crio Vulcanismo o criomagmatismo, en lugar de vulcanismo o magmatismo. En nuestro planeta, el magma es un material de composición silicatada que se funde a alta temperatura. Debido a los gases y compuestos químicos específicos, el magma terrestre emerge a la superficie de forma más o menos violenta y con una determinada viscosidad.

En Europa, Encelado y Tritón, satélites de hielo de Júpiter, Saturno y Neptuno, respectivamente, los procesos magmáticos son similares a los de los planetas de tipo terrestre, pero se diferencian fundamentalmente en que éstos tienen lugar a bajas temperaturas y lo que se funde es predominantemente hielo de agua, en el caso de Europa y Encelado, u otros compuestos como el metano (CH_4) y el nitrógeno molecular (N_2), en el caso de Tritón.

En el pasado, e incluso actualmente, estos tres satélites de hielo muestran huellas de haber sufrido actividad criomagmática. La mayor parte de sus superficies presenta escasos cráteres de impacto, lo cual sugiere que sus cortezas se renuevan constantemente y, por tanto, no son muy antiguas. En Europa, por ejemplo, se han observado materiales que han emergido y se han depositado en las líneas de fractura en la corteza de hielo. La nave *Voyager* ha fotografiado en Tritón terrenos de origen crio volcánico. Por su parte, en el polo Sur de Encelado, la sonda *Cassini* ha detectado recientemente salidas violentas de agua desde fisuras de la corteza de hielo, muy similares a las que se producen en los géiseres terrestres. En especial, la existencia de fuentes de calor y masas de agua líquida en los satélites de hielo Europa y Encelado, los convierte en lugares potenciales en el Sistema Solar exterior en los que puede haber florecido la vida.

Material utilizado y protocolo experimental: Se plantea un experimento para mostrar cómo se generan los procesos criomagmáticos en los satélites de hielo del Sistema Solar. Para realizarlo es necesario el siguiente material:

- *Agua (preferiblemente destilada)*
- *Bromofenol azul*
- *Hielo carbónico, en grano fino*
- *Cristalizador grande*
- *Probeta de capacidad 1 litro*
- *Espátula fina*

Antes de iniciar el experimento es conveniente verter 1 litro de agua destilada en una probeta de capacidad suficiente y teñirla de azul con bromofenol. El colorante nos servirá para apreciar mejor la simulación de los fenómenos criomagmáticos. Así mismo, se cubre el fondo del cristalizador con una capa homogénea de hielo carbónico. (Hay que tener en cuenta que está a -50°C , por lo que se aconseja manipularlo con guantes de látex).

Una vez realizadas estas operaciones, se procede a iniciar el experimento propiamente dicho. En primer lugar, el agua azul se vierte poco a poco y de manera uniforme sobre la capa de hielo carbónico con la que cubrimos el fondo del cristalizador. Una vez

cubierto todo el hielo, se completa el llenado hasta 500 mililitros. (Es importante verter la cantidad de agua correcta, puesto que si se vierte más o menos de la debida el experimento puede fracasar).

Al contacto del agua con el hielo carbónico, el CO_2 comienza a sublimar por la alta temperatura del agua mientras que, ésta última, se enfría y congela, pasando de densidad 1 a 0,996 (figura 1). Es entonces cuando el sistema comienza a estructurarse. Al principio el agua líquida se va congelando unida al hielo carbónico, mientras que parte del CO_2 gaseoso se escapa a la atmósfera y parte se queda atrapado en el hielo de agua en formación. Este gas que queda confinado en el hielo puede escapar de forma más o menos violenta (a la manera de los géiseres y otros procesos volcánicos), si la corteza de hielo de agua se fractura (lo cual se puede provocar con la espátula fina).



Figura 1.- *Cristalizador en el que se observa la placa de hielo en formación y el desprendimiento de CO_2 (sublimación del hielo carbónico).*

Después de aproximadamente 3 minutos, el hielo de agua que se ha ido congelando unido al hielo carbónico se desprende del fondo del cristalizador y asciende a la superficie con una pequeña explosión. A los 10 minutos de iniciado el experimento se tiene una placa grande de hielo por encima del agua líquida. Con suerte, las placas de hielo que se han quedado adheridas al hielo carbónico también pueden fracturarse, como ocurre en los satélites de hielo. Para apreciar bien la corteza de hielo que se ha formado, se aconseja dejar preparado 30 minutos antes otro experimento que ya tenga formada la corteza de hielo y carezca de CO_2 , al margen del que en ese momento se esté realizando. Se puede añadir más agua para que el público vea lo bien que flota la placa de hielo sobre el agua líquida.

Sherlock Holmes y la Astrobiología

Planteamiento conceptual: Se trata de un juego interactivo de deducción en el que el estudiante (de Bachillerato) tiene la posibilidad de inferir y formular la hipótesis de

que en el pasado Marte gozó de un clima mucho más cálido y húmedo del que presenta en la actualidad.² La concepción de este juego atiende al convencimiento de que la mera divulgación de contenidos específicos de una materia quedaría incompleta y, por tanto, no cumpliría con su cometido comunicativo, si al estudiante se le escamotea la posibilidad de comprender cómo trabajan realmente los científicos. Es por ello por lo que nociones como hipótesis, incertidumbre, inferencia, método deductivo, están en el núcleo conceptual de este juego interactivo.

Para ganar en el juego, el estudiante debe ser capaz de inferir la hipótesis del agua en el Marte primitivo, para lo cual tiene que elegir de entre un conjunto de pistas "correctas" y "falsas" alguna combinación adecuada de "pistas correctas" que le ayuden a formular dicha hipótesis. Esta tarea de discernir está dificultada por el hecho de que las "pistas correctas" están mezcladas con las "pistas falsas" (pistas de cuyo examen no se infiere ninguna relación con el agua). A todos los efectos, las "pistas correctas" son datos geomorfológicos y mineralógicos que sugieren la presencia de agua líquida en el planeta rojo.

Al inicio del juego se explica de forma sencilla en qué consiste el método de la inferencia hipotética, que tanto gustaba de aplicar el popular Sherlock Holmes en sus aventuras (en concreto, se transcribe un fragmento aparecido originalmente en *Estudio en Escarlata* en el que Holmes deduce que el Dr. Watson había estado en Afganistán)³. A continuación se relaciona la descripción del método que Conan Doyle pone en boca del detective británico con la manera de trabajar que tienen los astrobiólogos. El astrobiólogo, al igual que Holmes, recurre al razonamiento "hacia atrás" para resolver un problema. Fue el filósofo Charles S. Pierce, quien lo estudió exhaustivamente y lo llamó *retroducción*. La mayoría de las personas razonan "hacia delante". Si se les describe una sucesión de hechos, inferirán de ellos cuál va a ser el resultado. Sin embargo, son pocas las personas que, si se les cuenta el resultado, son capaces de extraer los pasos (cadenas de inferencias) que condujeron a ese resultado.

Presentación de la actividad: Para desarrollar este juego de cadenas de inferencias se propone la utilización de pantallas de tipo táctil (*touch-screen*) y la aplicación de herramientas hipertextuales. Este tipo de interfaz facilita tanto la interacción del usuario como una presentación multilineal, intuitiva, clara y atractiva de la información. El desarrollo material de este juego está aún en proyecto por lo que tan sólo podremos describir su proceso de aplicación. La forma expositiva que se propone parte de una imagen en la que un avisado Sherlock Holmes escudriña con su lupa el planeta rojo e invita a que el usuario comience a jugar. Como ya hemos apuntado, la imagen de Holmes estará en una pantalla táctil. Una vez el alumno ha presionado sobre la imagen del detective, aparecerá una imagen de Marte dividida en 10 secciones (tipo "quesitos"), cinco de las cuales corresponden a las "pistas correctas" y las otras cinco a las "pistas falsas". Todas las pistas están distribuidas aleatoriamente. Para llegar a la hipótesis de que en una época pasada Marte albergó cantidades

² El desarrollo del juego puede ser individual o colectivo. La ventaja de jugar varios alumnos simultáneamente favorece la cooperación y el trabajo en equipo, tan importantes en la práctica científica.

³ Arthur Conan Doyle, *Sherlock Holmes*, Obras Completas (I), Ediciones Orbis, Barcelona, 1987, p. 28.

significativas de agua líquida, el alumno, después de sopesar la información contenida en las pistas con sólo pulsar en la sección ("quesito") elegida, deberá ir marcando una a una las casillas que considere correctas. Si, por ejemplo, marca cuatro casillas "correctas" y una "falsa", no conseguirá una buena combinación y, por tanto, no podrá formular la hipótesis del agua en el Marte primitivo. Al pulsar cualquiera de los "quesitos", el alumno obtendrá información audiovisual y textual de esa pista en concreto. Se trata de que el alumno sea capaz de interpretar la información hipertextual que se le presenta. En cualquier caso, el juego es autónomo en el sentido de que no es necesario que el alumno posea conocimientos previos sobre la geomorfología de Marte, sino que, a partir de las pistas, sea capaz de aplicar el razonamiento intuitivo y lógico, propio de la actividad científica.

En resumen, hay muchas cadenas de inferencias a partir de las cuales no es posible culminar con éxito el juego deductivo, pero obviamente existen algunas que sí permiten la formulación de dicha hipótesis. Una "solución correcta" puede lograrse combinando de diversas maneras las cinco "pistas correctas", lo que hace que el alumno entienda que una "pista correcta" no lleva necesariamente a la siguiente que se ha elegido, sino que es el conjunto de estas pistas la que nos hace inferir la hipótesis.

Contenidos específicos: A continuación se muestran los títulos tanto de las "pistas correctas" como de las "falsas". Cada pista se presenta con una breve descripción textual (omitiéndose explícitamente cualquier referencia directa a su relación con el agua, siempre que sea posible) y audiovisual (fotografías, esquemas, gráficos, vídeos, etc.), cuya función es ilustrar los contenidos y hacerlos más atractivos. Sólo se muestran algunas imágenes, no la totalidad de los contenidos incluidos en el juego (v. abajo).

"Pistas correctas"

1. *Terrenos con poco relieve y escasos cráteres en el hemisferio N. Perfil altimétrico:* Las tierras altas del hemisferio S de Marte presentan un gran número de cráteres de impacto. La mayoría de estos cráteres son muy antiguos. Por el contrario, las llanuras del hemisferio N prácticamente carecen de cráteres. El estudio del perfil altimétrico de la topografía marciana indica que el hemisferio S está elevado una media de 7 km con respecto al N o, lo que es lo mismo, el hemisferio N está deprimido unos 7 km con respecto al S.
2. *Red de valles (Valley networks):* Las redes de valles marcianas están menos desarrolladas que los sistemas de drenaje típicos en la Tierra. En los sistemas de Marte faltan las ramificaciones a pequeña escala que sí aparecen en los sistemas terrestres (Figuras 2 y 3). La geomorfología de estos sistemas en el planeta rojo puede ayudar a comprender su origen y evolución. En general, estas redes de valles están localizadas en regiones de Marte relativamente antiguas, lo que puede indicar que en el pasado Marte fue mucho más cálido que en la actualidad.
3. *Jarosita marciana:* El mineral llamado jarosita, identificado por primera vez en el barranco de El Jaroso (España) a mediados del siglo XIX, es un sulfato de

hierro cuyo rasgo más característico es que se forma exclusivamente en presencia de agua líquida. Espectros realizados por el robot *Opportunity* a la roca llamada “El Capitán”, en la región marciana de Meridiani Planum, indican claramente la presencia de jarosita en la roca.



Figura 2.- Imagen de un sistema de valles del sur de Marte, fue tomada por el orbitador Viking a mediados de los años 70. JPL/NASA.

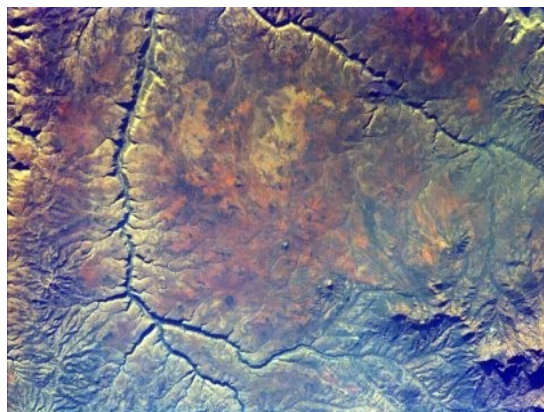


Figura 3.- Sistema de drenaje en Etiopía (la Tierra). NASA.

4. *Grandes cantidades de hielo de agua en los polos:* Marte, al igual que la Tierra, tiene casquetes polares. Tanto el polo Norte como el Sur presentan grandes cantidades de hielo de agua.
5. *Rocas sedimentarias:* Tanto en el suelo como en rocas estratificadas las cámaras del robot de superficie *Opportunity* han captado innumerables esférulas de reducido tamaño ricas en hematites, un mineral que en ocasiones se halla en forma de concreciones en las rocas sedimentarias terrestres y que suele formarse en medios acuosos.

"Pistas falsas"

1. *Red de fracturas en la corteza marciana:* Por ejemplo, la red de fracturas en la zona de Alba Fossae, al oeste de la región de Alba Patera, en el hemisferio N de Marte. Se trata de una zona que en el pasado tuvo gran actividad volcánica y tectónica.
2. *Ausencia de tectónica de placas similar a la terrestre:* La presencia de volcanes aislados y de grandes proporciones, como es el caso del famoso Monte Olimpo, nos indica que en Marte no se ha desarrollado una tectónica de placas como la terrestre. Por su parte, nuestro planeta sí presenta desplazamiento y colisión de las placas tectónicas, por lo que los volcanes terrestres suelen presentarse formando cadenas y no de manera aislada.
3. *Áreas cruzadas por líneas oscuras (dark streaks):* Son zonas que muestran una intrincada maraña de rayas oscuras (*dark streaks*), frecuentemente asociadas a la actividad de los llamados “torbellinos del diablo” (*dust devils*): un

fenómeno local que se origina sobre todo al final de la primavera y al principio del verano.

4. *Campos de dunas:* En imágenes obtenidas por la *Mars Orbiter Camara* (MOC), a bordo de la MGS, puede observarse un campo o sistema de dunas localizado en el cráter Proctor (hemisferio S de Marte). Además, en la zona entre dunas pueden apreciarse ondulaciones de la arena iluminadas por la luz solar.
5. *Proporción relativa de CO₂ en la atmósfera:* La delgada atmósfera de Marte está compuesta en más de un 95 % de dióxido de carbono (CO₂).

El Hexágono Astrobiológico

Planteamiento conceptual: Se trata de representar gráficamente la noción de TRANSDISCIPLINARIEDAD, tan importante en la Astrobiología. Para ello, se propone la imagen de un hexágono (Figura 4). El área del hexágono delimitada por líneas discontinuas representa el dominio de la Astrobiología, en el que se incluyen aquellos tópicos más destacados que tienen su razón de ser en la tradición de cada disciplina (áreas con colores uniformes), pero que pertenecen al campo específico de la Astrobiología (v. gr., "Origen y evolución de la vida" es un pilar básico en la investigación astrobiológica que pertenece a la disciplina mayor de la Biología). Las líneas discontinuas desechan la noción de compartimiento estanco para dar paso a las nociones de transdisciplinariedad y fertilización cruzada, tanto entre disciplinas y tópicos (flujos verticales) como entre tópicos (flujos horizontales). Por ejemplo, en el área anaranjada (que corresponde al dominio de la Biología) encontramos las siguientes líneas de investigación: (1) Origen y evolución de la Vida, (2) Biomarcadores de origen extraterrestre, y (3) Vida en ambientes extremos. Para abordar cualquiera de ellas es preciso emplear metodologías y lenguajes propios, en este caso, de la Biología en su conjunto, pero también es necesario el aporte de ideas, datos, recursos técnicos, procedimientos y lenguajes de otras disciplinas. Las líneas que se proyectan de cada una de las seis áreas menores del hexágono delimitan cada una de las grandes disciplinas (Biología, Geología, Astrofísica, Química, Ingeniería y Filosofía) que concurren en el desarrollo de los estudios astrobiológicos. En suma, el área interior del hexágono delimitada por dos líneas que confluyen en el centro de la figura geométrica representa aquellos temas específicos de la Astrobiología, para cuyo abordaje y comprensión es imprescindible el aparato conceptual y metodológico que aporta esa disciplina científica.

Presentación de la actividad: En la actualidad la construcción material del «Hexágono Astrobiológico» está en proyecto, por lo que no es posible adelantar los contenidos exactos que tendrá. En cualquier caso, estamos hablando de unos contenidos amplios y diversos, que gracias a la potente herramienta del hipertexto pueden ser explorados por el alumno de forma interactiva y multilineal. Por consiguiente, dada la cantidad y complejidad de la información que recogerá el «Hexágono Astrobiológico», la mejor manera de presentarlo al alumno debe ser de forma interactiva. Se propone la utilización de una pantalla táctil como herramienta computacional basada en los llamados *mapas conceptuales* (Cañas et al., 1999; Briggs et al., 2004).

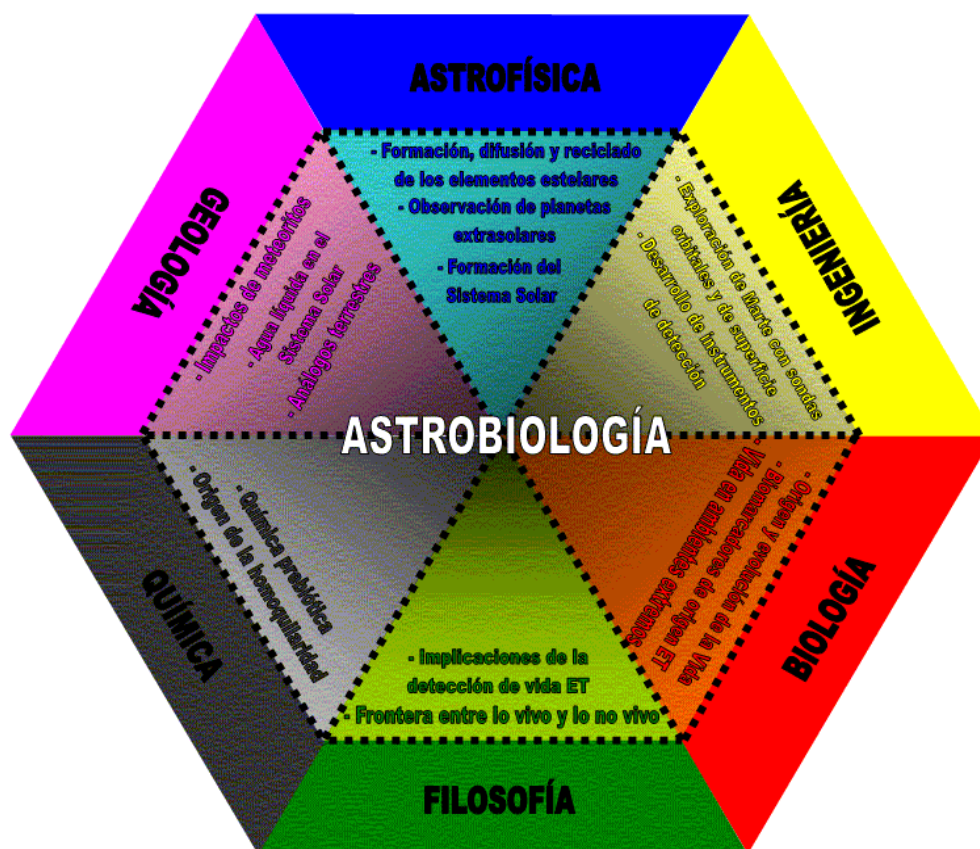


Figura 4.- El "Hexágono Astrobiológico".

Esta herramienta de software permite al estudiante elaborar mapas cognitivos, esto es, redes de conceptos basadas en información textual, fotos, vídeos, vínculos a páginas Web, etc. El estudiante, con sólo pulsar en el área externa correspondiente a cada disciplina o en cada tema incluido en el área de intersección interior del hexágono (Figura 4), obtendrá información textual, gráfica y/o audiovisual pertinente sobre el ítem seleccionado; además, también podrá remitirle a otros enlaces, tales como páginas Web de instituciones como la NASA, para que, si lo desea, amplíe o complemente la información que contiene el «Hexágono Astrobiológico».

Contenidos específicos: El «Hexágono Astrobiológico» no pretende ser un formato exhaustivo sino ilustrativo del inmenso potencial que para la investigación científico-tecnológica y para los estudios filosóficos tiene la Astrobiología. Por esta razón, se propondrán a la consideración del estudiante sólo dos o tres de los temas más representativos del amplio espectro de estudios que afronta la Astrobiología (ver listado más abajo). Estas dos o tres líneas de investigación están incluidas en el área de intersección entre el triángulo de la disciplina y el área interior del hexágono (esto es, en el espacio común de los estudios de Astrobiología y de la disciplina particular correspondiente). Las distintas disciplinas y sus tópicos astrobiológicos específicos son los siguientes:

Biología:

- Origen y evolución de la Vida
- Búsqueda de biomarcadores de origen extraterrestre
- La Vida en los ambientes extremos

Geología:

- El estudio de los análogos terrestres
- El papel de los impactos de meteoritos
- Evidencia geomorfológica y mineralógica de agua líquida en el Sistema Solar

Astrofísica:

- Formación, difusión y reciclado de elementos en las estrellas
- Formación del Sistema Solar
- Observación directa e indirecta de planetas extrasolares

Química:

- Química prebiótica. El experimento de Miller y con aerosoles
- Origen de la homociralidad

Ingeniería:

- Exploración de Marte mediante sondas orbitales y de superficie
- Desarrollo de instrumentos de detección

Filosofía:

- Frontera entre «lo vivo» y «lo no vivo»
- Implicaciones filosóficas de la detección de vida extraterrestre

CONCLUSIÓN

Los recursos didácticos descritos en este artículo pretenden articular una respuesta educativa para lograr una mejor comprensión de la ciencia y la tecnología, dirigida fundamentalmente a estudiantes de Bachillerato. La idea central de la propuesta es la de combinar contenidos científico-tecnológicos atractivos, tal como ocurre con las líneas de investigación englobadas dentro de la Exploración Planetaria, en general, y de la Astrobiología, en particular, y la metodología que utilizan los científicos planetarios para abordar sus estudios. Esta estrategia permite no sólo acercar al alumno contenidos interesantes y atractivos sobre ciencia y tecnología, sino también “humanizar” al científico mostrando los procedimientos con los que encara los problemas científicos. Se enfatiza la importancia de la transdisciplinariedad, la analogía, la hipótesis y la inferencia en el trabajo de los investigadores.

REFERENCIAS

- ALCÍBAR, M. (2005). Astrobiología y la comunicación integral de la ciencia y la tecnología, ponencia presentada en el II Congreso Iberoamericano de Filosofía de la Ciencia y la Tecnología, La Laguna, Tenerife, 26-30 de Septiembre de 2005. En: <http://www.cibernous.com/autores/astrobiologia/teoria/alcibar.htm>
- BRIGGS, G. et al. (2004). Concept Maps Applied to Mars Exploration Public Outreach. En A. J. Cañas et al. (Eds.). *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology*,

- Proc. of the First Int. Conference on Concept Mapping, Pamplona. En: <http://infolab.northwestern.edu/infolab/downloads/papers/paper10140.pdf>
- CAÑAS, A. J. *et al.* (1999). Herramientas para construir y compartir modelos de conocimiento, Simposio Latinoamericano y del Caribe: *Las Tecnologías de la Información en la Sociedad*, Aguascalientes, México, 27-36.
- DURANT, J., EVANS, G. A. y THOMAS, G. P. (1992). Public understanding of science in Britain: the role of medicine in the popular representation of science. *Public Understanding of Science*, 1(2), pp. 161-182.
- EINSIEDEL, E. y THORNE, B. (1999). Public Responses to Uncertainty. En Friedman, S. M., Dunwoody, S. y Rogers, C. L. (eds.). *Communicating Uncertainty. Media Coverage of New and Controversial Science*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- GREGORY, J. y MILLER, S. (1998). *Science in Public: Communication, Culture and Credibility*. New York: Plenum Trade.
- LEMKE, J. L. (1990). *Talking Science: Language, Learning, and Values*. Norwood, NJ: Ablex.
- MICHAEL, M. (2002). Comprehension, Apprehension, Prehension: Heterogeneity and the Public Understanding of Science. *Science, Technology & Human Values*, 27(3), 357-378.
- STALEY, J. T. (2003). Astrobiology, the transcendent science: the promise of astrobiology as an integrative approach for science and engineering education and research. *Current Opinion in Biotechnology*, 14, 347-354.
- THOMAS, S. y MINTZ, A. (1998). *The Virtual and the Real: Media in the Museum*. Washington, DC: American Association of Museums.
- WYNNE, B. (1991). Knowledges in Context. *Science, Technology & Human Values*, 16 (1), pp. 111-121.

DIDACTIC RESOURCES FOR COMMUNICATING ASPECTS OF METHODOLOGICAL AND CONCEPTUAL OF BOTH PLANETARY EXPLORATION AND ASTROBIOLOGY

SUNMARY

In this paper we present some of the didactic resources which have been conceived for making easy the apprenticeship of different aspects of Planetary Exploration and, in a specific way, of Astrobiology as a transdisciplinary area of knowledge. The most evident interest that those didactic materials have, in addition to their interactive vocation, is that they combine scientific-technological contents with methodological issues. To the student this provides a more contemplative view of the modus operandi of scientific research.

Keywords: *Didactic Resources; Planetary Exploration; Astrobiology; Scientific Methodology; Transdisciplinarity.*